

異種形式橋梁におけるRC床板の連続化に関する研究

著者	盛川 勉
号	2705
発行年	2001
URL	http://hdl.handle.net/10097/7978

もりかわ つとむ

氏 名 盛 川 勉

授 与 学 位 博士（工学）

学 位 授 与 年 月 日 平成 13 年 7 月 11 日

学位授与の根拠法規 学位規則第 4 条第 1 項

研究科、専攻の名称 東北大学大学院工学研究科（博士課程）土木工学専攻

学 位 論 文 題 目 異種形式橋梁における R C 床版の連続化に関する研究

指 導 教 官 東北大学教授 岩熊哲夫

論 文 審 査 委 員 主査 東北大学教授 岩熊哲夫 東北大学教授 三浦 尚

東北大学教授 鈴木基行

論 文 内 容 要 旨

橋梁の床版連続化は伸縮装置撤去による走行性の改善、維持管理の軽減、耐震性の向上などで有利とされており、I 桁どうしの同種形式では施工例も蓄積されてきている。しかし、異種形式橋梁、例えばニールセンローゼ桁のような 2 主構橋梁と多主 I 桁の床版を連続化（連結）する場合は、2 主構橋梁では端横桁を介して連結する構造となるため、I 桁どうしの連結構造に比べて挙動は複雑になる。そのため、異種形式の床版連続化は著者の知るところでは本論文で取りあげている 2 例のみである。この内の一つである合戸橋は新設橋であり、柄杓流橋は既設橋の床版連続化である。

異種形式橋梁で床版を連続化させる場合の問題の多くは、その 2 橋の構造形式の違いそのものに起因する。この論文でとりあげる 2 主構橋梁と多主 I 桁の床版連結部分を例にとると、多主 I 桁側は橋軸方向に主桁が支点で支持されているのに対して、2 主構橋梁側は 2 主構間に主部材つまり端横桁が橋軸直角方向に配置される。ここで、2 主構橋梁側は一般に主構位置に支点を設けるので、端横桁は主構間隔を支間とする単純梁となる。したがって、床版を直接支持する床組構造の鉛直剛性およびたわみ性状がこの境界部分の両側で異なってくるので、この部分の床版を連続化するためには連結部の応力挙動を十分に把握することが必要になる。つまり 2 主構橋梁と多主 I 桁の床版連続化に関しては、

- ①どのような連結構造が望ましいか？
- ②ローゼ桁端横桁のたわみの影響はどう作用するか？
- ③連続化構造の検討のモデル化はどう行うべきか？

という内容を検討する必要がある。

近年では比較的小さな計算機でも FEM シェル解析が可能となっているが、設計という観点からすると、部材断面の初期設定から連結部の詳細も含めて FEM 解析するのは未だそれ程容易ではなく、床版連続化を進める上での障害の一つになっている。そこで本論文では連結構造の検討と他橋での検討に利用できるように簡易モデルの提案を行う。その簡易モデルを用いた検討により、床版連続化するための構造を検討

し、床版連続化を実施していくための考察を加える。

本論文は、第1章から第6章までで構成される。

第1章では、近年取り入れられている床版および主桁の連続化（あるいは連結）の現状を概観した上で、床版連続化の意義と本研究の目的を述べた。2主構形式と多主I桁形式が隣接する橋梁は、初期投資という経済指標を重視した形式選定が行われてきたため多く見られる。その床版連続化の意義は以下のように要約される。

- (1) 2主構橋梁では主構間隔が広いほど端横桁のたわみも大きくなるため、側径間との伸縮装置でのたわみ差が生じ易くなり、伸縮装置の損傷や走行騒音の問題がある。これはゴム支承を導入したとしても解決されない。
- (2) 2主構橋梁がトラス系および斜材を有するアーチ系の場合、構造特性としてたわみ角が比較的小さく、床版連続化の有利な条件を持っている。
- (3) 耐震連結としての連続化は、橋梁形式のいかんによらず重要である。

第2章では、これまでに実施例のなかった、ニールセンローゼ桁と多主合成I桁の床版連続化の検討を述べた。対象とした橋梁は新設橋であるが、中間支点部の衝撃音対策を目的に、基本構造を変えないことを前提として床版連続化をおこなった。本検討では鋼桁部分を連結することを基本方針とし、基本検討として格子モデルにより連結部材の設計力を求めて部材断面を設定した。次ぎに、この連結構造に対して、端横桁・床版の境界条件の影響がないと考えられる比較的大きい床版と鋼部材で構成する3次元モデルによりFEM解析を行って、連結部の床版配力筋（橋軸方向）の鉄筋経と鉄筋配置を決めた。本章で得られた結論は以下の通りである。

- (1) 合成桁～連結部は、合成桁の剛支点とローゼ桁端横桁で弾性的に支持された2径間連続桁に近い挙動を示し、合成桁のL荷重が連結部応力に対して支配的である。合成桁支点部では連続化による反力増加に対して、支承周りの補強をした。
- (2) 連結構造は、格子モデルでの検討結果から、当初の単純桁で設定していた伸縮受台程度の曲げ剛性をもつ部材とした。
- (3) 連結部のFEM解析モデルは、連結部への境界条件の影響を除くため基本検討で用いた骨組モデルと同一の範囲とし、連結部近傍で、鋼桁は薄肉シェル要素、床版は厚肉シェル要素を用いたため、節点数が約6500と比較的大きなモデルとなった。
- (4) 連結部FEM解析の結果から床版上面の最大引張応力は66 kgf/cm (6.5N/mm²)で、連続化した部分の床版の上側配力筋は、最大でD22@100まで補強した。床版コンクリートの曲げひびわれ幅の照査結果は、許容値0.25mmに対して0.14mmとなった。
- (5) 連結部材では、直応力 σ_x は2643kgf/cm² (259N/mm²)（ミーゼスの相当応力度は2375kgf/cm² (232N/mm²))と応力集中の影響がやや大きくでているが、この点は実構造では母材は高力ボルト継

手部の自由端であり、添接板では板厚増加により応力緩和されており問題となるレベルではない。

第3章では、異種形式橋梁において床版連続化を検討する場合の簡易なモデル化について検討をおこなった。次章以降における連結構造の比較検討をする上でも、あるいは時間的制約の大きい実工事での検討の上でも、モデル化の範囲を縮小した簡易なモデル化が可能であれば便利である。本章では第2章で検討した構造に対して、そのFEM解析の結果を踏まえて合成桁1主桁のみを取り出したもので、合成桁のゴム支承だけでなく、端横桁の弾性支持の影響もすべて弾性支承のバネ支承で代表させるモデル(TYPE-1)をまず考えた。このモデルでは、端横桁は埋め込み端とした。次に、端横桁の鉛直たわみ、面外たわみ(橋軸方向)、ねじりを等価なバネに置き換えたバネ支持モデルを考えた。ここで、端横桁のバネ定数は応力度が最もきびい外桁に着目した場合の強いバネ(TYPE-2)と内桁に着目した弱いバネ(TYPE-3)の2つを設定した。この2つのタイプのモデルに対してFEM解析をおこなった。本章で得られた結論は以下の通りである。

- (1) 2主構橋梁で床版連続化をする場合は、端横桁たわみが連結部の応力度に影響するので簡易モデル作成にこの点を取り込む必要がある。すなわち、端横桁バネモデルを用いる必要がある。
- (2) 合成I桁の1主桁を取り出した簡易モデルで2主構橋梁端横桁のモデル化について考察した。端横桁バネを着目位置に単位荷重を載荷して求めた単純バネ定数を用いると、FEM解析値との床版応力度の差は10%程度、連結部材応力度は25~30%の差となり、簡易モデルを設計で用いることが可能である。したがって床版以外の構造部分をどのように連結するかについての設計計算を、この簡易モデルで比較的少ない有限要素数で行うことが可能になった。
- (3) さらに端横桁バネ定数を格子モデルにより合成4主桁間の相互作用を考慮したバネ定数に修正すると、床版応力度の誤差は5%、連結部材では15%以下となった。つまり簡易モデルで端横桁のバネを適切に設定することにより、連結部の変形を定性的に説明することができ、床版応力度を精度よく把握することが可能であることを示した。

第4章では簡易モデルを用いたFEM解析により連結構造の応力変形挙動を詳細に調べた。2主構橋梁と多主I桁の床版を連続化させる構造として、以下の3つのタイプをとりあげた。

TYPE-A 床版+上フランジのみの連結

TYPE-B 床版+柔連結 (連結部材の桁高 $h = 600\text{mm}$)

TYPE-C 床版+縦桁連結(連結部材の桁高 $h = 1050\text{mm}$)

その結果、以下の結果を得た。

- (1) 床版と上フランジのみを連結する形式(TYPE-A)は、連結部をはさんだ両橋梁のたわみ角が小さい場合で、端横桁の剛性と合成桁支点のバネ定数が $30,000 \sim 50,000 \text{tf/m}$ ($294 \sim 490 \text{MN/m}$) 程度の一般的な範囲である場合に限定すれば最も簡便な構造として適用可能である。
- (2) 柔連結(TYPE-B)は、TYPE-A に対して一般的には床版応力度の軽減効果が10%以下と比較的小さ

い。しかし、合成桁支承のバネ定数が非常に大きい場合もしくは剛支点の場合に TYPE-A に対して床版応力の軽減効果が顕著になる。

- (3)縦桁相当の連結部材を設けた TYPE-C の場合には、TYPE-A に対する相対的な床版応力度の低減率が一般的な範囲で 20～30%程度と大きい利点がある。例として用いたディテールでは、連結部材のミーゼス最大応力度が若干大きくなるものの、その大きさは設計を工夫することによって比較的簡単にコントロールできるレベルである。また、T-20 1 台による連結部材ミーゼス応力度は、合成桁のバネ定数が一般的な範囲なら約 $450\sim 500\text{kgf/cm}^2(44\sim 49\text{N/mm}^2)$ であり、設計的に可能なレベルである。
- (4)TYPE-C を採用すれば、合成桁の支承条件あるいは端横桁の剛性が極端な場合でも応力が比較的低いため、TYPE-A あるいは TYPE-B で設計できない場合でも床版連続化が可能になり、その適用範囲が広がってくる。

第 5 章では、TYPE-A～C の 3 つの連結構造に対して、簡易モデルでの端横桁が強いバネと弱いバネの場合の結果を基にして、連結構造についての比較検討を行い、それぞれの連結構造の特徴をまとめた。続いて、TYPE-A～C の応力・変形特性および施工面での考察を加えて、以下の結論を得た。

- (1) 異種形式橋梁の床版連続化では、床版応力度を第 1 の指標として検討を行うことが基本となる。連結構造は床版応力度の低減度合いによって決めればよく、検討例では TYPE-C では TYPE-A に対して 20%程度の床版応力度が低減される。床版ではひび割れ幅の照査や施工面も重要である。
- (2) TYPE-C では連結部材の応力度が比較的大きくなる可能性があるが、連結部材の卓越応力度は L 荷重による主桁の変形によって引き起こされる 2 次応力であり、かつ FEM 解析による局部応力である。従って、連結部材の許容する応力度は $0.85\sigma_y$ 程度が目安となる。連結部材では疲労損傷に対する対応が重要である。
- (3) 多主 1 桁支点のバネ定数の設定、あるいは TYPE-C を採用することにより床版応力度の低減が可能であり、床版連続化の自由度が大きくなる。2 主構橋梁では端横桁のたわみが大きく、伸縮装置損傷と騒音の問題がつきまとうが、側径間との床版連続化が一つの解決方法となる。
- (4) 異種形式橋梁の床版連続化では、活荷重に対する主桁系の変更なしでノージョイント化が可能である。既設橋ならびに新設橋でも落橋防止と兼用した桁端構造の簡素化によりコスト縮減に寄与することも期待される。今後、維持管理まで含めたライフサイクルコストの観点から床版連続化の検討が期待される。

第 6 章では、本研究で得られた結論の総括を行った。

—— 以上 ——

論文審査結果の要旨

橋梁の床版連続化は、走行性改善だけでなく耐震性向上や維持管理の軽減に有利であるが、現状では同種I桁形式への適用がほとんどである。しかし現在積極的に実施されつつある既存橋梁の補修では、異種橋梁同士の床版連続化も強く求められているが、その設計手法はまだ確立されていない。本論文は、異種形式同士の連続化に着目し、床版応力に着目して支持形式・連続形式の比較について詳細に調べ、連続化する橋梁の力学特性に依存して最適な連続化・支持形式があることを示したものであり、全編6章より成る。

第1章は序論であり、本研究の背景・現状や意義を明らかにした上で目的を述べている。

第2章では、ニールセンローゼ桁と多主合成I桁の床版連続化の検討に関して、実施例の数値解析とそれに基づく設計法についてまとめ、床版応力を制御する適切な連続化が可能であることを指摘した。

第3章では、より汎用な設計に適するような連続化設計モデルについて検討し、前章の実施例との整合性に基づきモデルの検証を行っており、2主構橋梁側の連結剛性のモデル化の重要性を指摘している。

第4章は、前章のモデルを用いて代表的な3種類の連続構造の応力および変形挙動を詳細に調べたもので、いずれの形式であっても端横桁の剛性と支持剛性を適切に選ぶことによって最適な設計が可能であることを示している。しかしながら、適用例の多い床版と上フランジのみの連結では、やはり異種形式橋梁であることの影響から、床版応力が多大になる傾向がある。ウェブ部分も縦桁相当の連結をすれば、床版応力は20%以上低減でき、この場合も適切な支承の設計が可能であることを示している。

第5章では、代表3種類の連続構造と端横桁の剛性との関係に着目し、既設の異種橋梁同士の連続化に対する本モデルによる設計法の幅広い適用性を明らかにしている。連続化の設計では床版応力を第一の指標とすることが重要であることを示し、縦桁程度の強い連結をした場合の床版応力低減の効果を定量的に示した上で、連結部材の設計法を提案している。特に疲労損傷への配慮を重要視すべきことも明らかにしている。

第6章は結論である。

以上、要するに、本論文は適切な構造モデルを用いて異種形式橋梁同士の床版連続化の設計法を提案するとともに、具体的な最適な支持・連結形式が存在することを検証したものであり、既設橋梁の補修のように、活荷重に対する主桁系の変更無しでの連続化が可能であることを検証したものであり、維持管理だけでなくライフサイクルコストの観点からも、橋梁工学ならびに土木工学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。